

建材行业工业软件发展研究

胡雅涵¹, 寇贞贞¹, 江源^{1,2*}, 谭东杰¹, 李安朋¹, 袁英敏², 万佳艺¹, 辛宇¹

(1. 建筑材料工业信息中心, 北京 100037; 2. 中国建筑材料工业规划研究院, 北京 100035)

摘要: 建材行业是国民经济的基础产业, 在智能制造变革、数字化转型的浪潮下, 新技术应用持续加深, 数字化场景不断涌现; 为此, 带动了作为连接工业设计制造流程与信息化、智能化、数字化纽带的建材行业工业软件的发展, 将助力建材行业实现高质量发展。本文立足行业特点、工艺流程以及工业软件的核心功能, 将建材行业工业软件分为管理运营类、研发设计类、生产控制类和服务保障类 4 类, 分析了建材行业工业软件的国内外发展现状以及与国际先进水平之间的差距, 从补短板、促替代和建长板角度明确了 4 类软件今后的重点发展方向。研究建议, 建材行业工业软件应以突破重点领域技术瓶颈、确保关键环节安全可控、推动信息技术创新赋能和搭建行业公共服务平台为技术突破路径, 以优化软件产业扶持政策、完善工业软件标准体系、鼓励“产学研用”合力攻关、培养工业软件复合人才、建立良好软件应用生态为发展策略, 着力提升建材行业工业软件发展水平。

关键词: 建材行业; 工业软件; 产业瓶颈; 智能制造

中图分类号: TP31 **文献标识码:** A

Development of Industrial Software for Building Materials Industry

Hu Yahan¹, Kou Zhenzhen¹, Jiang Yuan^{1,2*}, Tan Dongjie¹, Li Anpeng¹,
Yuan Yingmin², Wan Jiayi¹, Xin Yu¹

(1. Information Center of China Building Materials Industry, Beijing 100037, China; 2. China Development Strategy Institute for Building Materials Industry, Beijing 100035, China)

Abstract: The building materials industry is the foundation of national economy. Intelligent reforms and digital transformations have deepened the application of new technologies and brought about more digital scenarios, which drives the development of industrial software for the building materials industry and facilitates the high-quality development of the building materials industry. Industrial software is a link that connects industrial design and manufacturing processes with informatization, intelligence, and digitization. In this study, we categorize the industrial software for the building materials industry into the following four types based on industrial characteristics, technical processes, and core functions of the software: operation management; research, development and design; production control; and service support software. Subsequently, the development status of industrial software for the building materials industry in China and abroad is reviewed, and the gap between China and the advanced international level regarding industrial software development is analyzed. The key development directions are clarified from the perspectives of improving weak links, promoting replacement, and developing advantages. The research suggests that the industrial software for the building materials industry should be developed from the following technological perspectives: (1) breaking technical barriers in key areas, (2) ensuring

收稿日期: 2022-06-28; 修回日期: 2022-07-07

通讯作者: *江源, 建筑材料工业信息中心教授级高级工程师, 研究方向为流程工业信息化、数字化、智能化; E-mail: jy@cbminfo.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“流程制造工业软件发展战略研究”(2021-XZ-28)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

the safety and control of key links, (3) promoting the application of information technology innovations, and (4) building an industry public service platform. Moreover, we propose the following development strategies: (1) optimizing the support policies, (2) improving the industrial software standards system, (3) encouraging industry–university–research–application collaboration to address key problems, (4) cultivating industrial software compound talents, and (5) establishing a good software application ecology.

Keywords: building materials industry; industrial software; industrial bottlenecks; intelligent manufacturing

一、前言

建材行业正处于调整行业结构、转型升级的关键时期，工业软件作为连接工业设计制造流程与信息化数字化的纽带，在行业内有明确的规模市场优势和内需潜力，对于建材行业转方式、调结构、增动力、加快迈向高质量发展具有重要意义。当前，现有文献研究主要关注工业软件自身发展情况，包括工业软件整体发展水平、发展瓶颈和路径研究 [1~7]，较少关注工业软件在行业中的应用。在建材行业智能制造数字转型加快发展的背景下，明确行业工业软件的应用情况，梳理存在的问题，补足行业发展短板，成为亟需研究的课题。针对于此，本文将聚焦建材行业工业软件领域研究的空白，开展相关研究。

本文立足行业特点和工艺流程，按照工业软件核心功能，将建材行业工业软件分为研发设计类、管理运营类、生产控制类和服务保障类四大类。具体来看，建材行业研发设计类工业软件主要用于提高企业仿真模拟和研发设计的效率，实现企业数字化研发；建材行业管理运营类工业软件主要用于提高企业经营管理水平和资源利用率，实现企业各部门间的协同工作；建材行业生产控制类工业软件主要用于提高生产制造过程的生产效率、管控水平和设备效能；建材行业服务保障类工业软件多指工业互联网下建材企业新业务、新模式下的新型工业软件。建材行业各类工业软件主要代表产品如图1所示。在工业软件分类的基础上，本文通过对建材行业工业软件发展现状、差距、趋势作全面剖析，明确四类工业软件的重点发展方向，提出发展建议，为建材行业工业软件发展提供指引。

二、建材行业工业软件现状分析

（一）国内外发展现状

1. 研发设计类

建材行业常用的研发设计软件有分子动力模拟

软件（Lammps）、材料模拟软件（Materials Studio）、玻璃窑炉模拟软件（GFM）、流体仿真软件（Ansys CFD）、通用结构力学仿真分析系统（Ansys Mechanical）、计算机辅助设计系统（CAD）、计算机辅助工程系统（CAE）、计算机辅助制造系统（CAM）、计算机辅助工艺过程设计系统（CAPP）、产品数据管理系统（PDM）和产品生命周期管理系统（PLM）等。在建材行业应用的工业软件中，研发设计类软件的“卡脖子”情况最为严重。虽然部分建材企业使用国产CAD、CAE软件用于工艺设计，使用PDM、PLM搭建建材产品数据关系信息平台，使用结构力学模拟软件进行新材料研发仿真模拟以及部分水泥、混凝土企业建立了实验室在线管理系统，但国外厂商在技术和市场方面的优势明显，主要的厂商有达索系统公司、美国参数技术公司（PTC）、西门子股份公司、欧特克公司（Autodesk）、美国Bentley公司、美国ANSYS公司等 [8,9]。国内的CAD、CAE产品目前在集成化、规模化、覆盖度、成熟度等方面落后于国际先进水平；国产化PLM多是基于国外系统的二次开发，很少有自研底层平台；材料仿真模拟类软件一直是国内研发设计的痛点 [10,11]。长期以来，建材行业如水泥、玻璃、陶瓷、新材料研究领域的设计院和高校多是依赖于国外厂商的仿真产品，不仅存在匹配性低的问题，更存在一定的安全隐患。

2. 管理运营类

管理运营类工业软件主要包括企业资源管理系统（ERP）、客户关系管理系统（CRM）、供应链管理系统（SCM）、人力资源管理系统（HRM）、企业资产管理系统（EAM）、仓库管理系统（WMS）和办公自动化系统（OA）等。相较于其他类别的工业软件，建材行业管理运营类软件应用最为广泛，国产化程度最高。建材企业基本实现了ERP的覆盖，并将HRM、SCM、CRM、EAM等接入ERP系统，实现对企业资源的全面管控，以提高运营效率。国外建材企业管理运营类软件适配性与定制化程度水平较高，而国内技术水平先进，市场份额

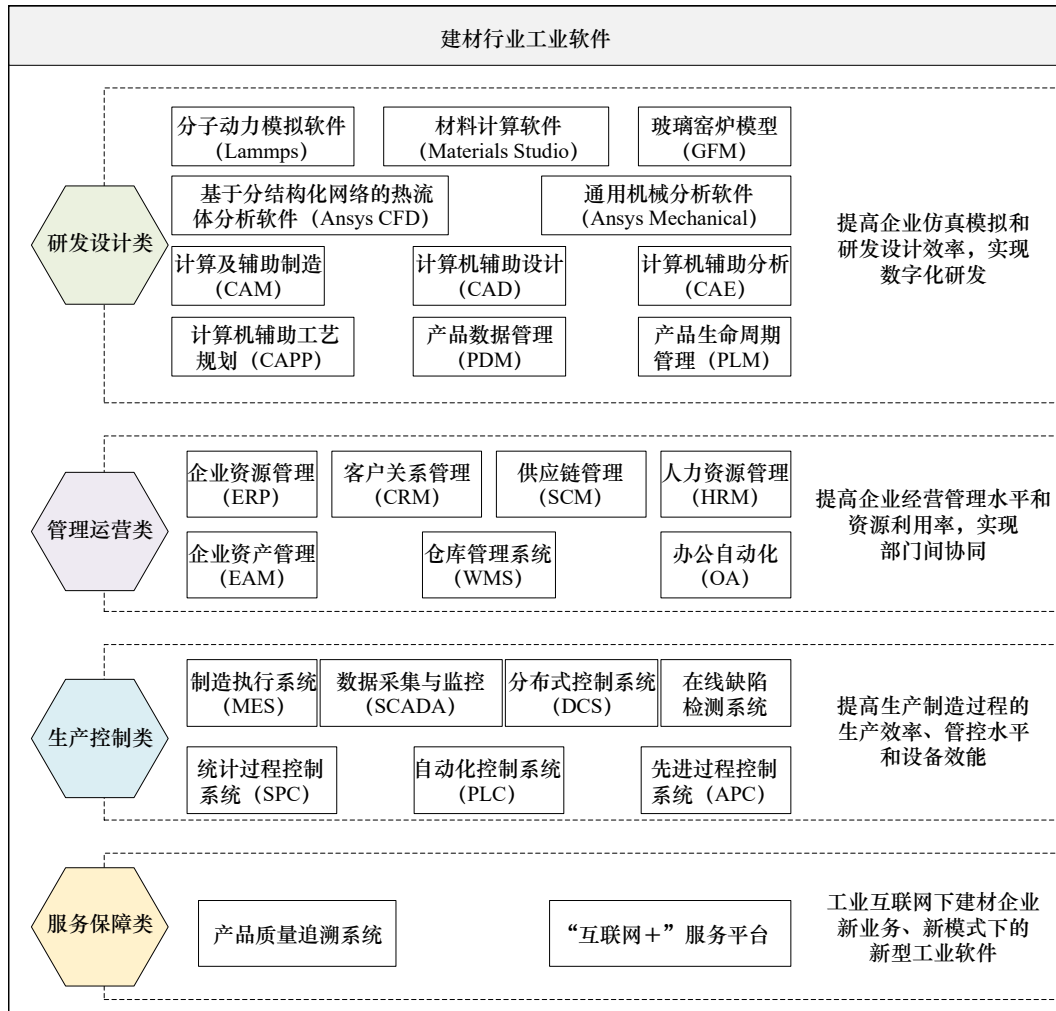


图1 建材行业工业软件分类

先, 凭借云计算领域的优势, ERP、CRM 等运营管理软件已实现软件即服务 (SaaS) 化。

3. 生产控制类

生产控制类工业软件主要包括生产制造执行系统 (MES)、数据采集与监视控制系统 (SCADA)、分散控制系统 (DCS)、统计过程控制系统 (SPC)、可编程逻辑控制器 (PLC)、先进过程控制系统 (APC)、在线缺陷检测系统等。国外生产控制类软件一体化集成趋势明显, 实力雄厚的自动化系统供应商如西门子股份公司等通过并购 MES 公司或开发 MES 软件包来抢占市场, 各大型公司的 DCS 基本进入第四代; 我国国内在该领域的研发力量丰富, 但软件的自主可控程度较低。

4. 服务保障类

服务保障类工业软件是工业互联网新的发力点, 也是建材企业转型升级的场景化途径之一, 包

括产品质量追溯系统、“互联网+”服务平台等。国外数字化技术应用丰富, 新场景新模式不断涌现; 作为新兴趋势, 我国的服务保障类工业软件获得了广泛关注且发展前景广阔, 涌现出宁夏建材集团股份有限公司的“我找车”智能物流平台、易单网“跨境电商+海外仓”外贸电商平台、华新水泥股份有限公司的电子商务平台“华新商城”等一批新模式、新场景的新平台, 行业创新能力持续强化。

(二) 差距分析

1. 研发设计类: 高端工业软件严重依赖进口, 与世界先进水平差距大

研发设计类软件虽然整体规模不大, 但是其技术含量却是最高。随着我国建材行业转型升级、快速发展, 研发设计类软件增速较快, 国产化程度

也在逐步提升，基本实现了二维（2D）层面的国产替代，但是在三维（3D）层面上仍以国外产品为主，高端CAD、CAE、PLM等研发类工业软件市场被思爱普（SAP）公司、西门子股份公司、达索系统公司、PTC、Autodesk等国外厂商占据[12]，仿真模拟类软件、数字孪生、人工智能研发设计平台也以国外厂商为主[13,14]。

2. 管理运营类：行业针对性与定制化程度较低，能源安全管理待提高

由于建材各细分行业的主要产品、生产工艺、服务对象等方面差异较大，对工业软件的需求也并不一致，各企业都期望拥有一套契合于本行业、乃至企业自身的管理运营系统或平台。目前我国自主研发的ERP系统大多是通用型软件，缺乏行业针对性，定制化程度较低。随着碳达峰、碳中和目标的提出，能源管理系统（EMS）也随之成为建材企业管理运营的重要板块，因此要进一步提高对能源管理信息系统的重视与应用，促进建材行业节能降碳目标的实现。

3. 生产控制类：完全自主可控尚有进步空间，技术创新水平需持续提升

在建材生产控制软件领域，西门子股份公司、达索系统公司等保持行业龙头地位，研发厂商较多，但是其产品难以完全实现自主可控；国内软件的集成水平和综合性能还需进一步提升。生产控制类软件在建材企业全业务流程中占据着非常重要的地位，但是不少企业在应用国外的MES系统后，却因数据端口问题无法和国内管理运营类软件集成，造成了工业数据不对称，为智能工厂的整体建设带来了一定的困难。

4. 服务保障类：供应市场较为分散，尚未形成行业细分型平台

目前建材行业的工业软件主要集中在研发设计、运营管理、生产控制类软件，服务保障类软件的供应和应用市场还有很大空间。整体来讲，对于质量追溯等服务的重视程度不足，投入力度不够，个人用户几乎没办法溯源产品生产信息。此外，建材行业对新模式、新业态应用不足，新一代信息技术赋能不够，服务保障能力整体不足，大多数企业依然依靠传统的商业模式实现产品的“进销存”，整体创新能力有待提高。

三、建材行业工业软件发展趋势

（一）应用领域逐渐增大并细化，行业针对性进一步增强

随着智能制造政策的逐步落实和我国工业化进程的加快，工业软件的应用范围和深度进一步扩大，若未来五年我国工业软件市场持续以两位数幅度增长，市场规模有望于2026年突破4300亿元。在推进建材行业“两化融合”、产业转型升级、新型工业化等国家战略的道路上，工业软件一直扮演着极为重要的角色。从建材产业链条上看，随着技术进步，工业软件的应用领域将持续增大，工业软件将广泛应用于各环节和各要素中，与生产流程、建材产品、工业装备等密切结合，全面支撑建材企业研发设计、生产制造、管理运营、服务保障等各项活动，成为工业化与信息化的融合剂。同时，工业软件将针对建材行业水泥、玻璃、陶瓷等细分领域提供更为适用的解决方案，增强行业针对性。

（二）碳中和目标推动能源管理，工业软件助力绿色制造

一直以来，建材行业存在能耗高、排放大、产能过剩等问题，在实现碳达峰、碳中和目标的国家战略背景下，建材行业急需选择有效的减排路径，加强能源管理。目前，许多建材企业通过应用EMS实现对能源消耗的实时监管，应用MES实现对生产过程的实时监督，但是EMS与MES多以独立运行的形式存在，两个系统间缺乏联系；而工业4.0、工业互联网、智能制造等平台 and 系统的出现，为二者融合提供了条件。能源管理已经不仅仅是设备能效、能耗监测和能源可视化，更为重要的是能耗建模，即能源数据的价值利用。随着工业软件的快速发展和绿色制造要求的不断升级，MES与EMS的深度融合将成为必然，即通过能源计划、能源监控、能源统计、能源消费分析、重点能耗设备管理、能源计量设备管理等多种手段助力能源管理，实现绿色制造。

（三）工业软件呈微小型化发展，工业应用程序（APP）将成为普遍形态

工业软件呈现大平台、小应用、云化、知识化等发展趋势[15]，在体系架构、功能集成、开发成

本、应用维护方面的一些不足逐渐难以适应发展需求。工业APP成为“知识”与“软件”两个要素相结合的产物。世界主要发达国家正在加快布局工业互联网平台，大力部署工业APP，通过激活工业数据和知识资源，赋能工业提质增效和转型升级。随着建材行业与互联网融合发展的纵深推进，行业数字化、网络化、智能化转型步伐加快，工业APP在建材行业的渗透速度也明显提升。工业APP将面向建材行业应用场景，横向应用到建材产品研发设计、生产制造、经营管理以及运维服务等多个环节，纵向应用于产品-设备-车间-企业-产业等多层级、多工业场景，在建材产品生产的设计仿真、设备监控管理、车间远程运维监控、企业资源调配管理、产业协同发展等方面实现便捷化操作。总之，工业APP将成为工业企业智能工厂的普遍形态。随着工业大数据的积累，未来的工业APP还将跟大数据紧密结合，基于数据分析结果对工业过程进行优化，提高工业生产效率。

（四）人工智能技术日益成熟，推动工业软件智能化发展

随着人工智能的发展，工业生产行为将更好地被机器理解和学习，工业软件将具备一定的思考、判断、学习能力，实现真正的智能化生产。人工智能与5G、云计算、大数据、工业互联网、物联网、混合现实、量子计算、区块链、边缘计算等新一代信息技术互为支撑，赋能建材工业的全生产流程，打造创新链，构建“泛在感知-实时分析-自助决策-精准执行-学习提升”的业务闭环。人工智能赋能智能CAD、专家优化系统、无人巡检、精细化配矿调度和采矿作业协同、汽车智能装运管理系统、安全行为监测、生产智能调度、智慧数据平台、能源管理分析等工业软件，能够有效提升建材研发、生产、流通、加工、服务、保障等各个环节的智能制造水平，推动工业软件智能化发展。

（五）高端工业软件研发不断突破，赋能建材数字化转型

工业软件是国内智能建材产业链中的薄弱环节，尤其是以研发设计类工业软件为主的高端工业软件是我国智能制造的短板。短期实现国外强势产品的赶超和替代是不现实的，但长期来看工业软件自主可控仍

是必要的。自主技术获得突破能够改变技术封锁的筹码结构，在高端工业软件的使用和开发方面争取到更有利的位置。当前正处于建材行业转型升级加速阶段，国产化进程持续提速，工业软件作为“卡脖子”环节，投入力度势必会加强。围绕建材行业智能制造急需突破的关键点，增强高端软件的供给能力，集中力量突破一批需求迫切、安全可控的智能装备、工业软件，鼓励主要建材领域骨干企业先试先用，可以有效提升智能制造技术支撑能力。

四、建材行业研发设计类工业软件的建设重点

建材行业研发设计类工业软件的建设重点为面向建材企业新材料研发、产品设计、材料性能研究、力学结构研究、窑炉仿真模拟、强度检测、工程设计等有共性需求的研发设计场景，开展数字化研发建设。

（一）弥补建材新材料在线研发设计不足

建材行业研发设计类软件中的新材料研发设计软件研发较为薄弱，为此，今后发展重点为：在建材产品研发、设计中引入人工智能，借助数据共享，对材料的物理化学性质进行快速筛选与预测，加快新型建材的合成，缩短研发周期。

（二）促进研发设计仿真模拟软件国产替代

CAD软件：CAD软件在建材行业应用逐渐增多，如水泥工厂的设计仿真、工艺流程绘图设计、陶瓷产品设计等。未来应重点加强我国自主研发的CAD软件在整体上的覆盖度和成熟度。

Lammps软件：Lammps在建材行业新材料的研发设计阶段应用广泛，主要应用于玻璃微观结构和力学结构的分子动力模拟研究，但目前主要以国外产品为主，国内相关模拟软件的研究将是未来重点发展方向。

熔窑模拟模型软件：GFM、流体动力学软件（FLUENT）分别是玻璃、陶瓷窑炉模拟中应用较多的软件，为玻璃、陶瓷窑炉的设计优化提供了依据。但GFM和FLUENT软件均是由国外厂商提供，国内厂商仍需全力探索实现窑炉模拟软件的自主可控。

CFD 软件：CFD 软件通过模拟浮法玻璃液流动、锡槽玻璃带成形过程和半球压制成型过程，可以有效对玻璃成型过程进行模拟仿真。国内应用最为广泛的 CFD 计算流体力学软件来自国外厂商，在建材计算流体力学模拟的领域，仍要强化国内厂商的开发应用。

材料力学结构研究软件：材料力学结构研究软件为建材实验室新材料的结构力学研究提供了科学依据，目前较为常见的是 ANSYS Mechanical。我国在建筑材料力学研究方面，需加强对相关软件的研发力度。

混凝土试件检测系统：该系统可完成混凝土试件养护及抗压强度检测全过程 24 h 无人化试验并上传数据，实现混凝土试件检测机养护的全过程智能化控制。目前，该系统内部普遍使用的是国外的控制系统、识别系统和零部件，我国需加强相关研发。

PLM 系统：虽然 PLM 系统在建材行业逐渐得到应用，但国产化 PLM 系统多是基于国外系统的二次开发，很少有自研底层平台，且与 CAD、CAE 等系统集成困难，PLM 国产化替代仍任务艰巨。

（三）巩固工程项目管理（EPC）全业务链数字化管理优势

工程数字化管理平台基于成熟的技术平台和软件产品实现对项目全生命周期的数字化管理，目前已在国内多家企业得以应用。平台以数字孪生工厂模型为基础数据，构建 EPC 全业务链的管理数字模型，打造涵盖数字设计、数字采购、数字物流、数字建造、数字调试、数字交付的全业务链数字化、精细化、平台化解决方案，汇聚资源，打造 EPC 全产业链数字化转型新模式。

五、建材行业管理运营类工业软件的建设重点

聚焦建材企业视频巡检、设备运维、水泥装运、能源管理、矿山调度、仓储管理、供应链管理、营销管理、商业分析、碳排放管理等管理运营场景，积极查找不足，发挥已有优势，推动建材管理运营类软件数字化建设的发展。

（一）强化安全巡检与智能装备管理弱项

安全智能视频巡检管控系统：未来应结合基于深度学习技术开发智能视觉算法，整合区域 DCS 监控数据、主辅机设备振动温度集采数据、视频监控数据，采用高频远程视频巡检方式，对视频图像中的人员、车辆、设备/物品、环境四大类目标进行智能实时分析，实现违章隐患自动识别，环境风险及时感知、设备运行安全监测、视频自动巡检。

矿山采区移动设备智能化监管系统：重点优化对移动设备实时监控、优化调度，监测运输车辆速度，存储作业设备轨迹信息，对防碰撞、怠工预警，自动记载过磅信息，自动统计生产数据等方式，加强移动设备管理，提高矿山数字化、精细化、智能化管理水平。

关键装备智能诊断及预警系统：未来重点通过增加设备故障知识图谱构建与学习、知识描述与生成、知识发现与决策等，建立关键设备智能诊断及预警系统，与一体化高效智能巡检系统、自动润滑系统、主辅机设备在线诊断系统、油品在线监测系统整合，实现生产线设备智能运维。机修车间建设检修任务大屏，配合手机端 APP 实现任务派发和推送。

（二）锻造国内管理运营类工业软件长板

水泥智能装运管理系统：通过智能集成二维码、自助发卡、进厂排队、空车检斤、远程装车、重车检斤、自助收卡出厂、自动扳道管理、点包计数、喷码系统对接、基于激光雷达的自动装车、人工智能水泥装车安全监控等技术，实现水泥发运全自动无人化。未来将通过不断地系统优化，推广该系统在水泥企业有更多应用。

EMS 系统：全面集成能源管理数据，实现工序耗电成本、工序电量、工序月实际电耗、能耗日报、峰谷平用电分析等指标查询和分析功能，在帮助企业在组织生产的同时，合理计划和利用能源，降低单位产品能耗和 CO₂ 排放量。今后将强化能源预警管理与系统集成，蓄力实现“双碳”目标。

5G 智慧矿山调度系统：在数据采集、车辆控制改造的基础上，通过车辆与车辆、车辆与调度中心之间的 5G 实时通信，基于矿区 3D 建模数据、实时路测数据、边缘计算能力和无人驾驶调度系统算

法,实现路径规划、正确停车、自动装卸、停车避难、远程操作等作业任务。未来将着重推进该系统在中小规模矿山的普及。

WMS 系统:通过条码及手持终端(PDA)等技术手段,对仓储中作业动作及过程进行指导和规范,自动采集及记录相关数据,降低仓储管理成本,增加仓库空间的利用率,从而提高企业的生产力和物流效率。今后将针对建材产品特点,提高建材大宗产品的仓储场景适配度。

ERP 系统:我国自主研发的ERP系统在行业版本、软件功能完善、实施能力方面逐步强化,在功能完善性、应用广泛性和软件成熟性等方面不断升级,已在建材行业得到了普遍应用。今后建设重点需围绕加快国内ERP系统迭代升级速度,加强系统与企业需求之间的联系,促进国产ERP系统应用范围的扩大。

SCM 系统:该系统将建材行业上、中、下游企业连在一起,以客户为中心,以订单为主线,涵盖订单执行过程的各个方面,实现物流、资金流、信息流、任务流同步,提高物流运作的效率、降低成本、控制风险。未来应优化系统的互联互通,实现客户价值的深度挖掘。

碳排放数字化评估系统:通过自主研发的建筑信息模型系统(BIM)赋码软件,将BIM模型信息云化,从而对工厂建设全生命周期碳排放量进行评估;未来重点结合国家规范和建材行业数据,对各阶段碳排放量水平进行评估,为企业进行碳盘查提供精准、高效、可溯源的数字化工具,为打造零碳园区、零碳工厂等各类碳中和项目,提供有力的支撑。

数字化营销系统:该系统通过建立客户资料库,打通客流数据与销售数据,对接多渠道客户,覆盖营销前后链路全场景。今后应结合建材行业特点,尤其是水泥等产品存在销售半径的情况,通过构建数据驱动的营销闭环与算法驱动的用户画像,实现个性化精准营销。

商业智能软件:该软件通过对数据进行分类、整理、分析和显示,挖掘数据价值,满足企业生产经营中各类复杂的分析需求,协助企业管理者做出决策,实现更智能的数据洞察,并成为建材企业生产运营指挥管理不可或缺的重要工具。未来将结合人工智能算法,实现企业数据价值的深度挖掘。

六、建材行业生产控制类工业软件的建设重点

基于水泥、玻璃、陶瓷、玻璃纤维等建材产品生产控制场景,重点推进符合行业属性、解决发展难点与痛点、可为企业降本增效的生产控制类工业软件的发展。

(一) 补充重点细分行业生产管理软件缺陷

水泥质量控制智能实验室系统:以自动化、信息化手段为基础,重点建设新一代水泥生产过程产品从自动取样、制备、检测到智能化分析的质量成分智能化、无人化检验,并集成MLD先进X荧光检测及出厂水泥智能化存样系统等关键技术的应用,实现自动取样,减轻劳动强度;取样的频次可控可调,取样送样频次高,解决原有取样的不连续、不可控难题;取样均匀、取送样及制样分析无人干预,系统处理速度快、效率高,可实现数据自动传送,及时指导生产。

高效板材智能锯解系统:未来应集成基于5G网络的实时控制、网络控制、双向馈能控制技术,构建基于多目标优化的锯解工艺技术与数据融合的智能控制系统,开发支持具有现场总线通信功能,与工艺技术库互通的分布式智能控制系统。

玻璃纤维电子布疵点检测与分类系统软件:已有的人工验布方式存在检测速度慢、检出率低等问题,而且长时间验布影响员工的视力健康。因此迫切需要一种能够长时间稳定运行、准确率高、速度快的电子布检测方法。未来将重点研究对检出的疵点图像进行灰度共生矩阵特征提取,实现疵点智能化分类。

耐火砖全自动检测系统:后续将通过与全自动机械设备的连接,实现对耐火砖的质量检测,耐火砖经电子眼自动检测有无裂纹、缺角、缺棱、层裂,再经光学仪器检测有无漏电缺陷;用超声扫描、激光电子仪器和重量传感器装置测定每块砖的密度、尺寸、扭曲、楔形度和耐压强度,必要时检测变形模数等。

(二) 确保生产控制类软件尽快安全可控

水泥高效非催化脱硝控制系统:为实现碳达峰、碳中和目标,水泥行业脱硝控制系统的研发迫

在眉睫。为此，在该领域今后需尽快建立完全自主知识产权的脱硝工艺核心技术参数和软件包，自主设计脱硝反应器和还原剂添加控制系统，实现水泥脱硝工程的广泛应用。

数码喷釉工艺系统：数码喷釉工艺系统可以完成无水釉线生产，实现多通道叠加喷墨打印，从根本上改善深色板色差等诸多问题，保证颜色更丰富、更有质感。国外多家色釉料企业已将数码喷釉广泛应用于陶瓷企业，未来应提高国内陶瓷企业应用数码喷釉系统的比例，推广自主可控的数码喷釉系统。

DCS系统：我国的DCS系统发展迅速，但是与国际先进水平仍有明显差距，国内许多建材企业采用的还是国外企业的DCS系统。为此，今后要进一步加快DCS的研发力度，提升软件整体实力，扩大国内DCS的市场占有率。

MES系统：通过智能监控自动、实时采集生产现场的各种数据，生成质量报表和质量数据分析报告，对关键工序关键项点的数据加以分析，以便于发现车间生产中的隐性质量问题，实现及早发现处理问题、提升生产效率的功能。国内厂商应着力研发完全自主可控的MES产品，强化市场占有率。

SCADA系统：通过建立灵活高效的数据基座，为数据接入、功能应用提供稳定基础，充分挖掘数据价值，可以实现对建材生产设备数字化、可视化、智能化的监控与管理，对生产环节进行智能预测、智能分析、智能诊断、智能决策。目前SCADA还未实现完全国产化，国内相关技术开发企业应加大投入，以保证工业数据的安全可控。

（三）重点细分行业关键控制软件建长板

水泥配料动态优化系统未来的发展重点为：结合人工智能技术，建立数学模型，超前预测指导、动态优化配料组分，实现按照设定配比和流量控制各输入物料的瞬时流量、控制水泥质量和产量；针对慢速下料阶段的软件处理，特别是空中落差处理、料斗震动和过冲量，建立自校正预测控制算法模型，保证动态精度与速度两全。

窑智能实时优化控制系统的发展重点为：根据当前窑炉实际情况，具备全局优化和自学习功能，综合考虑实际工况，自动计算并设定优化的控制目标，准确监测窑内火焰温度、形状、物料温度，降

低分解炉出口温度、稳定并提高二次风温、增加篦冷机的能量回收、减少过量空气、减少熟料过烧，实现真正意义上的闭环自动控制。

水泥磨机智能实时优化控制系统的发展重点为：根据生产过程数据及内外部变量，通过机理模型，实现对粉磨系统的实时优化，自主设定系统喂料量、磨内填充率、系统风机转速、选粉机转数、循环风机转速、物料配比、颗粒级配等被控变量的控制目标，在低电耗、低料耗（熟料）的情况下，实现较高的台时产量、稳定的水泥质量。

玻璃热端控制系统的发展重点为：在系统分析与优化热端技术的基础上，建立大规模炉窑和锡槽关键结构数学模型，通过多个软件的开发，形成浮法玻璃生产热端大型化配套的设计与工程应用技术，基本实现熔窑换向、窑温、燃烧系统、窑压、成形重要区域、退火窑温度等环节自动控制。

玻璃冷端全线控制系统的发展重点为：研发网络化全数字控制系统，协调纵切控制系统、横切控制系统、堆垛控制系统、缺陷检测控制系统等，对各子系统的数据进行集中收集再分配、对玻璃数据信息进行全线实时跟踪，实现板面优化切割、跑偏跟踪、加速分离、自动掰边及纵掰纵分、自动落板、自动转向以及对退火窑速度的自动跟踪功能，提高冷端的自动化控制系统精度。

玻璃在线缺陷检测的发展重点为：基于机器视觉检测模型，增加玻璃全缺陷检测系统判断准确度，通过系统控制实现图像采集、图像处理、智能控制、机械执行等，达到单幅图像输出高、毫秒处理速度快、检测精度高、检测结果输出快、处理效率高目标。

玻璃优化切割系统的发展重点为：全自动纵切控制系统、横切控制系统和优化系统。切割系统负责完成优化系统下达的各项切割任务，同时切割系统与优化系统之间还需配置一台切割管理衔接系统协调各切割设备去完成优化系统下达的切割任务。

玻璃镀膜智能控制系统主要实现玻璃真空镀膜的自动化生产，实现玻璃传动控制、生产工艺配气系统控制、真空抽气系统控制、冷却循环水系统控制等，玻璃镀膜智能控制系统在保证镀膜厚度、质量的同时提高了镀膜生产线的工作效率。

可发性聚苯乙烯板（EPS）板材全自动生产系

统具备计划排产智能、生产过程系统智能、设备互联互通智能、生产资源管控智能、质量过程控制智能、决策支持智能等特点。我国已自主研发并投入使用了首条 EPS 板材全自动智能生产线,填补了行业的空白,是典型的符合工业 4.0 标准的自动化生产线和 MES 系统,将继续优化并推广应用该系统。

在粗骨料级配粒形在线监测系统方面,我国已经研制出基于人工智能的粗骨料级配粒形在线监测系统。该系统包含在线粒径监测设备、粗骨料粒形级配分析仪以及在线自动取料和粒形级配监测一体化设备,能够准确及时发现因为破碎机腔型带来的骨料粒径变化,对粗骨料级配和针、片状颗粒含量进行分析,生成粗骨料生产粒径曲线等,建议砂石矿山企业应用该系统以提升生产质量,改进生产工艺。

5G+智能矿山管理系统基于各种传感器、网络技术、自动化技术和管理信息化技术,实现采掘生产和管理过程中数据处理的自动化;利用 3D、虚拟现实等技术,把真实矿山的整体以及相关的现象整合起来,以数字的形式表现出来,实现地上和地下信息的 3D 地质可视化。未来通过利用遥感和遥控等技术,远程遥控和自动化采矿,进一步实现智能采矿、无人采矿和选矿厂无人值守。

5G+细纱视觉质检系统在 5G 网络的支撑下,快速获取工业相机采集的数据,对纺织品进行 24 h 实时全幅检测,并将检测后的瑕疵点图片、坐标等信息形成检测报告用于决策,通过 5G 网络下发指令控制机器停机/运行,同时同步需要处理的信息通知到工作人员手持平板及车间工业看板。该系统的检测信息和检测报告可与企业 ERP、MES 等系统进行对接,满足批次检验管理要求。未来将重点推广该系统在中小型企业的应用。

窑炉余热利用系统利用窑炉未脱硫除尘前温度可达 150 ℃ 的尾气余热发电制冷,引进国内先进余热制冷非电中央空调设备,为车间办公室、特殊设备等供冷降温,在减少脱硫除尘塔处理压力同时,减少了常规空调用电;还可利用窑炉产生的热风中的热能用于窑炉生产的坯体、模具的烘干,使余热得到有效利用,节约能源,提高窑炉生产产量。在绿色制造的大背景下,应宣传推广该系统在建材企业的应用。

七、建材行业服务保障类工业软件的建设重点

以“服务保障”为目的,通过数字化服务保障类平台的建立,进行建材产业的服务化延伸,通过建设建材行业工业互联网数字化服务平台,推广应用陶瓷实时防伪溯源系统,提高建材行业数字服务能力。

(一) 工业互联网数字化平台建设提速

建材行业工业互联网数字化服务平台的建设重点为建立“制造+服务”新模式,为建材行业企业及其产业链辐射用户提供柔性化定制和共享制造核心服务,以及研发设计、检验检测、工程安全监测预警、技术咨询等延伸服务,完善从研发设计、生产制造到售后服务的全链条供应链协同服务体系,推动建材行业 and 现代服务业相融相长、耦合共生。

(二) 陶瓷实时防伪溯源系统推广应用

陶瓷实时防伪溯源系统的发展重点为建立陶瓷产品从生产原料到产品流通的全过程质量可追溯体系,采用一砖一码的方式,在进出仓进行激光编码,辨识产品信息与销售区域信息,通过分选数据现场显示、远程读取、记忆储存,客户可扫码查看陶瓷产品生产过程信息,提升溯源的客观性、准确性和可靠性。

八、建材行业工业软件发展建议

(一) 技术性建议

1. 突破重点领域技术瓶颈

目前,我国大多数工业软件尚未能实现自主可控,是产业升级绕不过去的弱点。就建材行业来说,细分行业众多,各子行业在研发设计、运营管理、生产制造、服务保障方面各有特点,不能一概而论,需要逐一突破重点领域的技术瓶颈。为此,要重点突破新材料研发设计软件、安全智能视频巡检管控系统、矿山采区移动设备智能化监管系统、关键装备智能诊断及预警系统、水泥质量控制智能实验室系统、高效板材智能锯解系统、电子布疵点检测与分类系统软件、耐火砖全自动检测系统、建材行业工业互联网数字化服务平台等领域关键软

件，由点到面提升建材行业智能化水平。

2. 确保关键环节安全可控

面向企业的核心业务流程，尤其是建材企业的生产制造和自动控制环节，紧扣关键工序自动化、关键岗位工业机器人替代、生产过程智能优化控制、供应链管理智能化等方面，研发具有自主知识产权的专业化软件和高效实用的现场自动化设备及控制系统，为企业核心业务运行提供支撑。增加原创性技术的应用，尤其是针对二代干法水泥、高世代玻璃等，研发适合我国建材行业实际发展情况的软件系统。高度重视云计算环境下的数据安排和隐私保护问题，明确不同层级软件的安全边界及安全标准，规避系统安全风险。把握软件云化应用的浪潮，实现我国工业软件缩短差距乃至弯道超车。

3. 推动信息技术创新赋能

坚持建材行业智能制造主攻方向，把握人工智能、大数据、区块链的国际发展大趋势，开展数据驱动、产业协同、工业互联网建设规范专题研究，推动信息技术赋能工业软件的大踏步前进。将5G技术优势引入到工业软件的设计开发和产业应用中，让5G时代的工业软件功能更强、性能更优、速度更快、容量更大、支持设备更多、操控更方便。推进人工智能与工业软件的结合，开发人工智能专家优化系统、智能决策、智慧矿山、机器视觉检测等，提升工业软件的逻辑推理和决策判断能力。运用大数据技术获取建材行业上下游企业全方位数据，建立建材行业的工业大数据库，开展行业数据“采、治、存、算、用、管、权、安”的数据分类与应用工程。依托云计算等手段，提高工业软件内置决策系统的可靠性，加强决策作业寻优研究。

4. 搭建行业公共服务平台

通过建立行业公共服务平台，吸引优秀的解决方案供应商，聚集建材行业工业软件产品，设立建材行业主流工业软件资源池，展示行业特色工业软件，为工业软件企业增加产品曝光度，提供业务拓展与供需对接渠道，节省拓展市场的成本。整合服务商资源，面向有需求的企业提供咨询服务，为建材企业提供解决方案的定制服务，保证建材企业根据需求查找并匹配到合适的服务商和解决方案，以更低的成本和更高的效率完成数字转型。通过平台提供行业交流渠道，为企业间提供交流机会，解决企业在开发、应用工业软件过程中遇到的问题。

（二）管理性建议

1. 优化软件产业扶持政策

针对研发资金不足、研发设备落后等问题，国家、地方乃至建材行业要统筹科技资金，加大对工业软件研发的投入力度，同时可以推动先进企业、协会等设立工业软件研究专项资金，借用社会力量为工业软件研发工作提供财政保障。持续出台指导性政策文件，强调工业软件对行业发展的重大战略意义，设立重大专项计划，完善水泥、玻璃、陶瓷等细分行业的工业软件应用规划，以政策制定为导向，引领社会的科研力量、资金力量、创业力量向工业软件聚集。针对软件应用费用高、投入大带来的产用脱节问题，出台相应的财政政策，如设立相关补贴、减免企业税收等，推动国产软件在建材行业的普及。

2. 完善工业软件标准体系

建立接口标准体系，基于建材各细分行业对软件兼容性和定制化的要求，发展和定义统一的、通用的接口标准，对设计、仿真、制造、运维、服务等环节实现全方位对接，以解决市场对国际主流工业软件的长时间依赖问题，提高对国外产品的替换能力。加快建材行业工业软件应用标准体系的制定，通过研究建材行业工业软件应用需求，建立各环节工业软件应用等级评定规范，加强标准对行业智能化发展的统筹规划与宏观指导。制定并推广工业软件的成本度量和价值评估标准，建立合理的定价机制，统一软件定价准则与规范。

3. 鼓励“产学研用”合力攻关

推进“产学研用”多方合作，整合国内科研院所、高等院校、工业企业、行业联盟等多方优势力量，推进关键技术联合攻关，为建材行业数字化转型提供强大的技术支撑。由政府主导，打造国家级、区域级工业软件发展基地，构建以研发团队为核心、工业企业为实践主体的联动机制。组建关键技术攻关团队，建立工业企业、科研机构、软件开发与成果转化组成的工业软件联盟，构建“产学研用”一体化的创新生态系统，协同攻关建材行业痛点难点。建立科技成果评估评价机制，优化工业软件研究成果转化流程。围绕建材行业关键“卡脖子”技术和主要应用瓶颈，设立重大攻关专项，将关键技术突破、建材产品规模商用和建材行业生态培育紧密结合。

4. 培养工业软件复合人才

探索有中国特色的软件人才产教融合培养路径, 形成具有示范性的高质量软件人才培养新模式。强化校企共建, 加强技术创新上、中、下游的对接与耦合, 增加在校学生企业实践的机会, 避免教产脱节, 让学校能充分发挥自身的人才、专业与资源优势, 也让企业得以发挥自己的市场与产业优势, 实现产学研融合。培养既懂信息技术与运营技术、算法、程序设计, 又懂建材加工工艺与流程制造的复合型人才, 在人才认定标准上, 更侧重肯定企业需要、有实际成果和实际效用的人才。鼓励大型建材企业、解决方案供应商设立专项奖金, 适当提升相关人才的生活保障与工资待遇等。增加工业软件赋能建材行业的宣传推广, 鼓励高校、科研机构、行业协会举办建材行业工业软件设计研发大赛等。

5. 建立良好软件应用生态

鼓励工业软件新成果、新技术积极申请知识产权, 倡议建材企业、高校、科研机构等树立知识产权付费意识与正版保护意识, 坚决抵制盗版软件, 筑牢产业良性发展的根基。鼓励大型建材企业率先应用国产工业软件, 随后逐步向小型企业推广。增加软件售后服务与性能提升, 在使用过程中不断优化性能、界面, 丰富功能, 增强软件对建材行业的适用性。丰富应用场景, 对于水泥、玻璃、陶瓷、玻纤等产品全生命周期活动, 在服务端开发并应用合适的工业软件, 助推建材行业服务能力的提升。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: June 28, 2022; **Revised date:** July 7, 2022

Corresponding author: Jiang Yuan is a professor-level senior engineer from Building Materials Industry Information Center. His major research fields include process industry informatization, digitalization, and intelligence. E-mail: jy@cbminfo.com

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Strategic Research on the Development of Industrial Software for Process Manufacturing” (2021-XZ-28)

参考文献

- [1] 邵珠峰, 赵云, 王晨, 等. 新时期我国工业软件产业发展路径研究 [J]. 中国工程科学, 2022, 24(2): 1-10.
Shao Z F, Zhao Y, Wang C, et al. Development path of China's industrial software industry in the new era [J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(2): 1-10.
- [2] 王云侯. 中国工业软件发展现状与趋势 [J]. 中国工业评论, 2018 (Z1): 58-63.

- Wang Y H. Development status and trend of industrial software in China [J]. China Industry Review, 2018 (Z1): 58-63.
- [3] 中国工业技术软件化产业联盟. 中国工业软件产业白皮书 [R]. 北京: 中国工业技术软件化产业联盟, 2021.
China Industrial Technology Software Industry Alliance. White paper on China's industrial software industry [R]. Beijing: China Industrial Technology Software Industry Alliance, 2021.
- [4] 姚翔. 我国工业软件发展面临的挑战与展望 [J]. 人工智能, 2021 (2): 118-121.
Yao X. Challenges and prospects of China's industrial software development [J]. AI-View, 2021 (2): 118-121.
- [5] 李琳. 工业软件: 制造业的核心装备 [J]. 现代制造, 2020 (27): 8.
Li L. Industrial software: The core equipment of manufacturing industry [J]. Maschinen Markt, 2020 (27): 8.
- [6] 陶卓, 黄卫东. 中国工业软件产业发展路径研究 [J]. 技术经济与管理研究, 2021 (4): 78-82.
Tao Z, Huang W D. Research on the development path of industrial software industry in China [J]. Journal of Technical Economics & Management, 2021 (4): 78-82.
- [7] 云梦妍, 贾斐. 工业软件发展趋势与机遇研究 [J]. 互联网天地, 2021 (8): 27-31.
Wang M Y, Jia F. Research on development trend and opportunity of industrial software [J]. China Internet, 2021 (8): 27-31.
- [8] 锥海鹏, 巩萱, 雷键. 浅谈云 CAD 发展及标准化工作建议 [J]. 机械工业标准化与质量, 2021 (8): 37-40.
Luo H P, Gong X, Lei J. Suggestions on the development and standardization of cloud CAD [J]. Machinery Industry Standardization & Quality, 2021 (8): 37-40.
- [9] 王继娜. 智能制造中充分发挥工业软件关键性作用的几点建议 [J]. 现代工业经济和信息化, 2021, 11(8): 218-219.
Wang J N. Some suggestions on giving full play to the key role of industrial software in intelligent manufacturing [J]. Modern Industrial Economy and Informationization, 2021, 11(8): 218-219.
- [10] 江绍华. 国内外工业软件产业创新发展研究 [J]. 广东科技, 2021, 30(10): 70-73.
Jiang S H. Research on innovation and development of industrial software industry at home and abroad [J]. Guangdong Science & Technology, 2021, 30(10): 70-73.
- [11] 王海成. 从国家战略高度重视国产工业软件产业高质量发展 [J]. 中国发展观察, 2021 (14): 13-18.
Wang H C. Attach great importance to the high-quality development of domestic industrial software industry from the perspective of national strategy [J]. China Development Observation, 2021 (14): 13-18.
- [12] 隆云滔, 黄婷婷, 罗训. 国产工业软件如何突围 [J]. 小康, 2021 (12): 22-23.
Long Y T, Huang T T, Luo X. How to break through the encirclement of domestic industrial software [J]. Insight China, 2021 (12): 22-23.
- [13] 赵敏, 宁振波. 铸魂: 软件定义制造 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2020.
Zhao M, Ning Z B. Soul casting: Software defined manufacturing [M]. Beijing: China Machine Press, 2020.
- [14] 周凡利. 创新突破工业软件发展瓶颈 [J]. 中国工业和信息化, 2020 (3): 28-34.
Zhou F L. Innovation breaks through the bottleneck of industrial software development [J]. China Industry & Information Technology, 2020 (3): 28-34.
- [15] 陶永, 蒋昕昊, 刘默, 等. 智能制造和工业互联网融合发展初探 [J]. 中国工程科学, 2020, 22(4): 24-33.
Tao Y, Jiang X H, Liu M, et al. A preliminary study on the integration of intelligent manufacturing and industrial Internet [J]. Strategic Study of CAE, 2020, 22(4): 24-33.